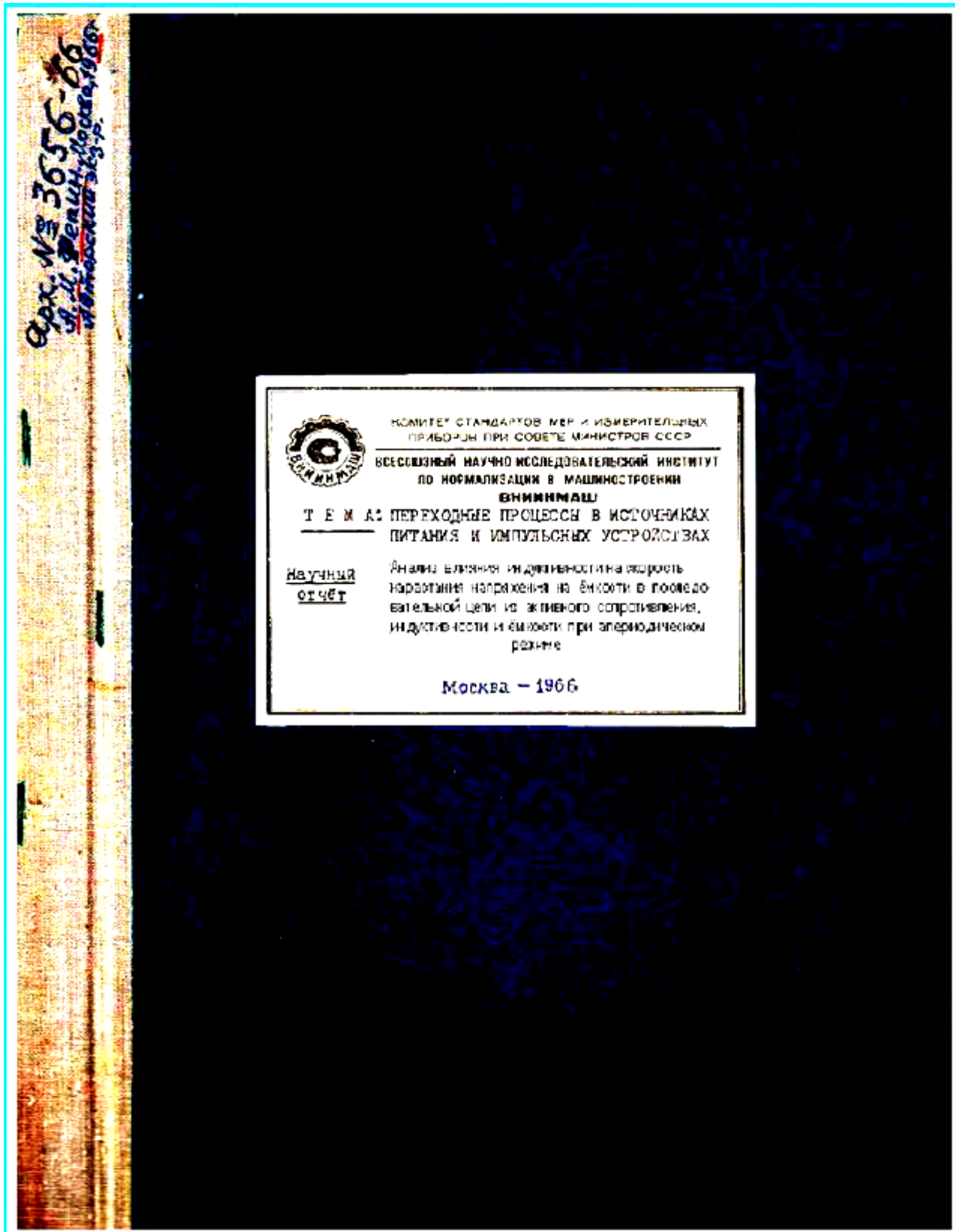


. А.М. Репин. Электромагнитные процессы (ЭМП) в линейной rLC -цепи. / *Repin A.M. Electromagnetic processes (EMP) in the rLC -circuit*. С. 1–9. [RC.2', RC.2'эл]. 1966-2015.

Анонс. Впервые в электронном варианте и авторском дизайне приводятся результаты научного отчёта 1966 г. ('под'-части к опубликованной части 1). Тоже инициативной работы, выполненной совместно с К.П. Собиновым и не подлежащей обязательному предъявлению заказчику иной работы по т.н. хоздоговору (ныне, по "рыночным" условиям). Ниже даны математические и графические результаты анализа непрерывных процессов в последовательной rLC -цепи, полезные при изучении основ радио- и электротехники, источников электропитания, теории линейных электрических цепей (ТЭЦ, ТЛЭЦ, ТОЭ) и т. п. См. //conf.rae.ru/article/9632. ..9633. ..9634.



"УТВЕРЖДАЮ"

Директор института

В. Верченко / В. Верченко,

" 26 " 12 1966 г.

Т Е М А

ПЕРЕХОДНЫЕ ПРОЦЕССЫ В ИСТОЧНИКАХ
ПИТАНИЯ И ИМПУЛЬСНЫХ УСТРОЙСТВАХ.

Научный отчёт

"Анализ влияния индуктивности на скорость
нарастания напряжения на ёмкости в последо-
вательной цепи из активного сопротивления,
индуктивности и ёмкости при аperiodическом
режиме."

На 14 листах.

Зам. директора:

Малиновский

/К. Малиновский

Нач. отдела № 31:

Тетерюков

/В. Тетерюков/

Нач. отдела № 32:

Сельский

/В. Сельский/

Руководители темы,
ответственные ис-
полнители и
исполнители:

Репин 10.12.66

/А. Репин/

Собинов 10.12.66

/К. Собинов/

МОСКВА

1966 г.

ПРОТОКОЛ № 8

заседания НТС отдела № 31 от 23.12.66г.

Председатель - нач. отдела № 31 Тетерюков В.А.

Члены НТС	нач. отдела № 32	Сельский В.А.
	нач. отдела № 33	Монахов С.А.
	рук. темы	Собинов К.П.
	рук. темы	<u>Репин А.М.</u>
	рук. темы	Акопянц А.А.
	вед. инженер	Виноградов В.П.

Обсуждён научный отчёт "Анализ влияния индуктивности на скорость нарастания напряжения на ёмкости в последовательной цепи из активного сопротивления, индуктивности и ёмкости при апериодическом режиме".

1. Работу одобрить.

2. Отметить, что в выпрямительной технике обычно считают, что индуктивность замедляет процессы заряда, в связи с чем стараются на практике уменьшать индуктивность трансформатора выпрямителя с помощью ряда специальных мер. Это приводит к усложнению конструкции. В работе показано, что индуктивность играет положительную роль, упрощает и удешевляет конструирование и изготовление трансформаторов, улучшая их качество.

3. Результаты работы используются при разработке устройств, выполняемых по хоздоговорной тематике.

4. Работа может быть рекомендована к опубликованию.

Председатель

Члены НТС:

Тет
Тетерюков В.А.

Сел
Сельский В.А.

Гав
Гаврилов А.В.

Соб
Собинов К.П.

Реп
Репин А.М.

Ако
Акопянц А.А.

Вин
Виноградов В.П.

А Н Н О Т А Ц И Я

В работе проведено сопоставление электромагнитных процессов в двух цепях: а/в цепи с активным сопротивлением и ёмкостью, включенными последовательно, и б/ в цепи с индуктивностью, ёмкостью и активным сопротивлением, включенными последовательно. Рассмотрены и сопоставлены процессы в этих цепях при включении их на постоянное напряжение при нулевых и не нулевых начальных условиях. Выявлено влияние индуктивности на скорость нарастания напряжения на ёмкости, что представляет практический интерес, поскольку большое количество практических задач сводится к рассматриваемой схеме. Например, схему замещения многофазного выпрямителя, пренебрегая пульсациями напряжения, можно представить в виде цепи с последовательно соединенными активным сопротивлением, индуктивностью и ёмкостью, включаемой на постоянное напряжение.

P.S. Задача кажется простой. Решение известным. Всего-то пара реактивных элементов. Цепь, уравнения – второго порядка. Как сказал бы Холмс (тот, что Шерлок), точнее, его устами Дойл (который Артур Конан): “Элементарно, Ватсон”. Мдааа. Просто. Когда уже сказано. Сделано. Показано. Однако, “простое” актуально не только полвека назад. Но и сегодня. Всегда.

К примеру, любопытны процессы даже в R//C-цепи (первого порядка). О нарушениях закона скачков автор сообщал уже не раз. И в прошлом веке. И в этом. В т.ч. в НЭА АЕ. Но, как говорится, “воз и ныне там”.

Так, в свежем (21-го века) издании “учебника для ВУЗов”, не однократно изданного ранее, “существенно переработанного в соответствии с современными представлениями”, “допущен Министерством образования РФ по направлениям подготовки бакалавров и магистров, по программе «Лучшие учебники для высшей школы (ВШ)»” ... приведены наипростейшие одно- и трёх-фазные $m1$ -, $m2$ - и $m3$ -лучевые схемы вентильных конвертеров электроэнергии (ВК ЭЭ).

А также “однофазная и наиболее широко используемая” (в т. ч. в «схемах передачи постоянного тока») “3-фазная мостовые схемы”. Все – XIX века. По-за-пр-ош-ло-го. То бишь, “современные” и в веке XXI-м. Нынешнем. И ни одной схемы, действительно современной. Наряду с другими, можно бы (а почему нет) и из числа базовых схем (БК ЭЭ) по изобретениям автора этих строк. Хотя бы схем-рекордсменов по конструктивно-энергетическим показателям (КЭП). За более века последних лет.

Но и по схемам-ветеранам – одновременно ляпсусы. Для ЛЗ-мостовой схемы не точна форма выходного напряжения. Правильнее сказать «ошибочна». Дана с 3-кратной частотой пульсации. $P = 3$. На рис. 43. Против 6-кратной. Свойственной для ЛЗ-схемы. Тривиально известной с 19-го века. $P = 6$!

И, наконец, по простенькой R//C-цепи. Для $m1R//C$ -схемы ошибочно утверждение, что в интервале времени t_1 - t_2 (рис. 39), когда «вентиль открыт», «конденсатор заряжается». То есть и при уменьшении напряжения на нём. Но снижение U_C – это разряд C на R. Или заблуждение?

Ибо авторы и рецензенты – не из детсада. Не школяры. Все (пятеро или шестеро) – доктора наук, профессора. Трое или четверо – зав. кафедрами. Есть главный редактор и члены редколлегий. Академики и члены-корреспонденты Академий наук. В т.ч. АН СССР и РАН. Один – ныне Президент Академии. Все – лауреаты научных наград и/или Госпремий. «Элита». Одним словом. Не до “зар – раз”.

А ниже – попытка именно разобраться с ЭМП. Но в r LC-цепи.

Анализ влияния индуктивности.

Рассмотрим процессы в схеме рис. 1, где:

- E_0 - постоянная ЭДС;
- z - активное сопротивление;
- L - индуктивность;
- C - ёмкость.

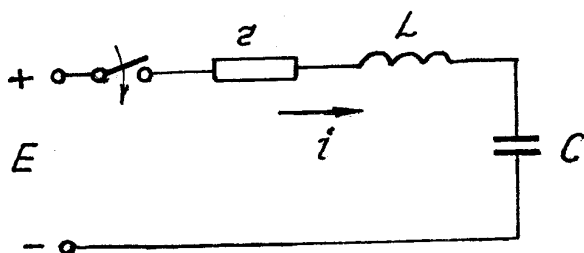


Рис. 1.

Обозначим: t - время, i - мгновенное значение тока, $U_z; U_L; U_C$ - мгновенные значения напряжения на активном сопротивлении, индуктивности и ёмкости соответственно. $U_C(0)$ - начальное /т.е. при $t = 0$ / напряжение на ёмкости.

Размерности величин: $[i] = \text{ампер /а/}$, $[U] = \text{вольт /в/}$,
 $[z] = \text{ом}$, $[L] = \text{генри /гн/}$, $[C] = \text{фарада /ф/}$,
 $[t] = \text{секунда}$.

Режим предполагаем апериодический.

За начало отсчёта времени $t = 0$ принимаем момент замыкания ключа К.

В схеме рис. 1 возможны 2 режима:

- I. Режим с нулевыми начальными условиями $U_C(0) = 0$.
- II. Режим с ненулевыми начальными условиями $U_C(0) \neq 0$.

Рассмотрим первый режим: $U_C(0) = 0$. В этом случае, как известно, выражения для токов и напряжений имеют вид:

$$i = \frac{1}{L_1(\rho_1 - \rho_2)} \cdot (e^{\rho_1 t} - e^{\rho_2 t}), \quad / I /$$

$$U_c = 1 - \frac{1}{p_1 - p_2} (p_1 e^{p_2 t} - p_2 e^{p_1 t}), \quad /2/$$

$$U_L = \frac{1}{p_1 - p_2} (p_1 e^{p_1 t} - p_2 e^{p_2 t}), \quad /3/$$

где:

p_1, p_2 - корни характеристического уравнения

$$p^2 + \frac{B}{A} p + \frac{1}{A} = 0,$$

$$B = 2C, \quad A = LC,$$

$$p_1 = \frac{-B + \sqrt{B^2 - 4A}}{2}, \quad /4/ \quad p_2 = \frac{-B - \sqrt{B^2 - 4A}}{2}. \quad /5/$$

Выражения /1/ + /3/ написаны в относительных единицах. За

базисные величины приняты $i_s^* = \frac{E}{Z}$; $U_s^* = E$,

и, таким образом, $i = \frac{i^*}{i_s^*}$; $U_L = \frac{U_L^*}{U_s^*}$; $U_c(0) = \frac{U_c^*(0)}{E}$;

$U_c t = \frac{U_c^*}{U_s^*}$, где знаком * отмечены абсолютные

/амперы, вольты/ значения величин. В дальнейшем все выражения для напряжений и токов приводятся в относительных единицах.

Напомним, что рассматривается апериодический режим,

т.е. $\sqrt{B^2 - 4A} = D \geq 0$.

Для случая отсутствия индуктивности / $L = 0$ / получаем

$$i = e^{-\frac{t}{\tau}}, \quad /6/$$

$$U_c = 1 - e^{-\frac{t}{\tau}}. \quad /7/ \quad \text{где } \tau = 2C.$$

Для граничной точки апериодического режима, за которой процесс переходит в колебательный, имеем $D = 0$, и, после раскрытия неопределенностей, выражения /1/ + /3/ приобретают вид:

$$i = \frac{t}{\tau_1} e^{-\frac{t}{2\tau_1}}, \quad /8/$$

$$U_c = 1 - \left(1 + \frac{t}{2\tau_1}\right) e^{-\frac{t}{2\tau_1}}, \quad /9/$$

$$U_L = \left(1 - \frac{t}{2\tau_1}\right) e^{-\frac{t}{2\tau_1}}, \quad /10/$$

где: $\tau_1 = \frac{L}{R}$.

На рис. 2 изображены графики зависимостей /1/, /2/, /3/ - для случая $L \neq 0$ и /6/, /7/ - для случая $L = 0$.

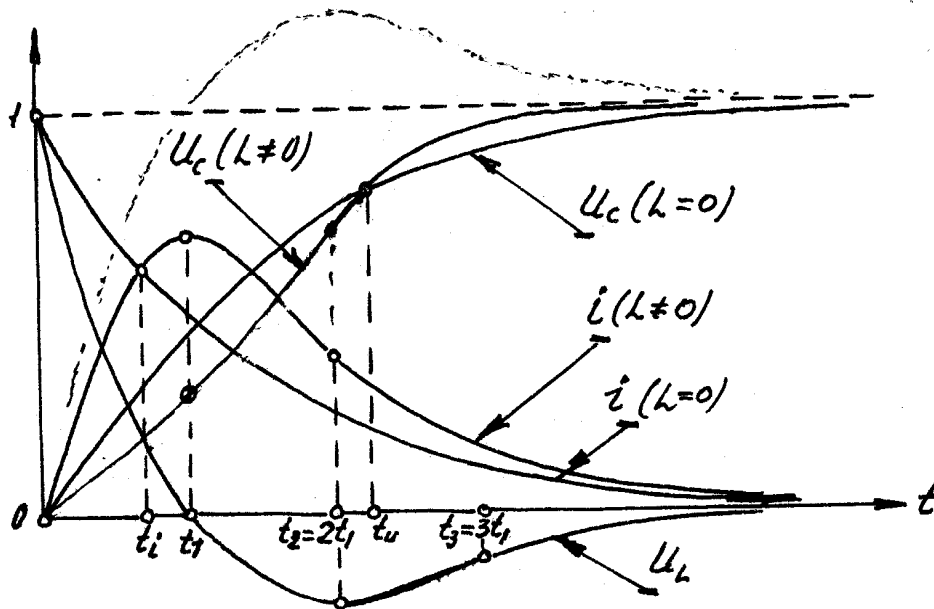


Рис. 2.

Как видно из рис. 2, до момента времени t_u индуктивность замедляет процесс нарастания напряжения на ёмкости, а после момента времени t_u - ускоряет процесс, что соответствует физике явления. Действительно, до момента t_i идёт процесс накопления энергии в магнитном поле индуктивности, а после момента t_i энергия, запасённая в магнитном поле, "перекачивается" в энергию электрического поля конденсатора; т.е. индуктивность начинает играть роль дополнительного источника энергии, благодаря чему и ускоряется заряд конденсатора.

Пользуясь методами дифференциальной геометрии, определим все характерные точки.

1. Момент времени t_1 .

В этот момент имеет место максимум тока и перегиб кривой напряжения U_c , напряжение $U_x = 0$.

Выражение для определения t_1 найдём из условия

$$\left. \frac{di}{dt} \right|_{t=t_1} = 0. \quad \text{Используя /1/, получаем}$$

$$t_1 = \frac{A}{D} \ln \frac{P_2}{P_1} = \frac{1}{P_1 - P_2} \ln \frac{P_2}{P_1} \quad /11/$$

2. Момент времени t_2 .

В этот момент имеет место максимум /по абсолютной величине/ напряжения U_x и перегиб кривой тока i .

$$\text{Из условия } \left. \frac{dU_x}{dt} \right|_{t=t_2} = 0 \quad \text{после преобразований}$$

$$\text{получаем } t_2 = 2t_1. \quad /12/$$

3. Момент времени t_3 .

В этот момент имеет место перегиб кривой напряжения U_x .

$$\text{Из условия } \left. \frac{d^2 U_x}{dt^2} \right|_{t=t_3} = 0 \quad \text{получаем}$$

$$t_3 = 3t_1. \quad /13/$$

И, наконец, определим моменты пересечения кривых токов / t_i / и напряжения / t_u / для случаев $L = 0$ и $L \neq 0$.

Приравняв выражения /1/ и /6/ в точке $t = t_i$, получаем зависимость для определения t_i в виде

$$\frac{D}{B} = e^{(P_1 + \frac{1}{\tau})t_i} - e^{(P_2 + \frac{1}{\tau})t_i}, \quad /14/$$

где $\tau = \tau C$, остальные величины указывались выше.

Аналогично, приравняв /2/ и /7/ в точке $t = t_u$, находим зависимость для определения t_u

$$P_1 - P_2 = P_1 e^{(P_2 + \frac{1}{\tau})t_u} - P_2 e^{(P_1 + \frac{1}{\tau})t_u}. \quad /15/$$

Уравнения /14/ и /15/ легко решаются, например, графически.

Для случая $D = 0$ /крайняя точка апериодического режима/ получаем:

$$t_1 = 2\tau_1, \quad /16/ \quad \left| \begin{array}{l} \tau_1 = \frac{L}{z} \\ \tau = zC = B \end{array} \right. ,$$

Выражения для определения t_i и t_u будут:

$$1 = \frac{B}{A} t_i e^{-\frac{t_i}{\tau}}, \quad /17/$$

$$1 = 1 + \frac{t_u}{2\tau_1} e^{-\frac{t_u}{\tau}}. \quad /18/$$

Пример использования полученных зависимостей дан в приложении I.

Перейдем к рассмотрению режима II /режим с ненулевыми начальными условиями, т.е. при $u_c(0) \neq 0$.

Отметим, что, как и ранее, рассматриваем только апериодический процесс.

На основании закона Кирхгофа для цепи рис. I имеем:
(в операторной форме записи)

$$E^* - u_c^*(0) = i^*(p) \left(pL + \frac{1}{pC} + z \right),$$

откуда

$$i^*(p) = \frac{p[E^* - u_c^*(0)]A}{L(Ap^2 + Bp + L)}, \quad /19/$$

где $A = LC$; $B = zC$.

Напомним, что, как и ранее, знаком * отмечены абсолютные значения величин.

Корни знаменателя будут

$$p_{1,2} = \frac{-B \pm \sqrt{B^2 - 4A}}{2A}.$$